叢枝菌根菌之應用研究

林素禎 [1,*]

[1] 農委會農業試驗所農業化學組副研究員。台灣。台中市。

摘要

叢枝菌根菌與植物根系之間的共生關係在自然環境中十分普遍，除可促進植物養分吸收、增強對土壤傳播性病蟲害的抵抗力、增加耐旱力、提高對重金屬耐受性外，並可增加土壤的團粒結構。本篇論文整理了植物的種類與品種對叢枝菌根菌之依賴度、叢枝菌根菌的種類以及土壤磷含量對叢枝菌根菌在作物生長效益之影響。由前人研究中可知作物對叢枝菌根菌的依賴度，栽培種作物低於野生種作物、高產量的品系低於陸生品系與野生品系、現代栽培品系低於原始品系。叢枝菌根菌的種類與品系會影響作物的接種效益。在低磷的栽培介質中，叢枝菌根菌可促進作物生長，磷含量越高，作物對叢枝菌根菌的依賴度降低。現代育種模式所選育的品種或品系大多對叢枝菌根菌依賴度低，無法充分利用叢枝菌根菌的優勢，未來應在低養分與逆境下進行品種與品系的選育，才能選出與叢枝菌根菌親合性高的作物，使叢枝菌根菌在促進作物的生長效益達到最大。

關鍵詞：叢枝菌根菌、作物品種、作物品系、磷。

前言

叢枝菌根菌 (arbuscular mycorrhizal fungi, AMF) 可與很多的植物形成菌根，從苔蘚植物，蕨類植物，裸子植物到被子植物，從一般陸生植物，耐鹼植物，水生植物到旱生植物。根據德國斯爾丁教授 (Sieverding 1991) 的估計，在熱帶植物中，約有 86.6 %為菌根植物，其中 70.9%為 AMF 植物，15.7%為其它菌根植物。 Fitter & Moyersoen (1996) 定義 AMF 與植物根部之間的關係為一種可持續非致病性的生物營養相互作用。AMF 可以為宿主植物帶來許多的好處，例如：促進養分吸收、增加對食葉昆蟲的抗性 (Gange & West 1994)、提高抗旱性 (Augé *et al.* 1994)、提高對土壤傳播性病害的抗性 (Whipps 2004)、增加鹽分和重金屬的耐受性 (Diaz *et al.* 1996; Feng *et al.* 2002； Mohammad *et al.* 2003)。且已有研究證實 AMF 在保持土壤團粒的穩定性扮演著重要的角色 (Tisdall 1991； Degens *et al.* 1996)。另外，AMF 產生的根外菌絲和糖蛋白 (glomalin) 可促進土壤碳儲存，Zhu & Miller (2003) 發現土壤碳來自於 AMF 的貢獻可從 54 到 900 kg ha^{-1}。

AMF 有益於作物生長的作用在過去研究甚多，然 AMF 在田間應用上，卻不一定能發揮效果，這主要是因為 AMF 受到環境因子的影響。本篇論文簡述植物的種類與品種對 AMF 之依賴度 、AMF 的種類以及土壤磷含量對 AMF 在作物生長效益之影響，另

*論文聯繫人
e-mail: linmay@tari.gov.tw

外亦介紹農業試驗所近年來在 AMF 的研究與推廣。

一、不同植物種類與品種接種叢枝菌根菌之生長效益評估

根據Schüßler *et al.* (2001) 報告指出，超過80%的維管植物科 (vascular plant families) 可與AMF共生。Baylis (1975) 首先報導木蘭科植物Magnolioid對AMF的依賴度很強，藉由AMF的共生，可幫助Magnolioid吸收磷，但若Magnolioid的種類不同，AMF幫助其吸收磷的效益亦不相同。Gerdemann (1975) 定義菌根依賴度 (mycorrhizal dependency) 為：在特定的土壤肥力下，植物與菌根菌共生可產生的最大生長或最大產量。Plenchette *et al.* (1983) 提出相對田間菌根依賴度(relative field mycorrhizal dependency, RFMD) 指數，做為植物接種AMF生長效益之評估指標， RFMD計算方程式如下：

RFMD = [(dry mass mycorrhizal plant – dry mass non-mycorrhizal plant)/ dry mass mycorrhizal plant] × 100

Plenchette *et al.* (1983) 所創的RFMD被後來的研究人員廣為使用。Hetrick *et al.* (1992) 則以無菌根植物乾重取代菌根植物乾重作為上述方程式之分母，稱為生長反應 (growth response)，生長反應與菌根依賴度皆可用來評估作物接種AMF之生長效益，其方程式如下：

Growth response = [(dry weight inoculated– dry weight non-inoculated)/ dry weight non-inoculated] × 100

Tawaraya (2003) 整理了前人報導過的250種植物對AMF的依賴度，並根據植被種類與土地利用將這些植物分為田間植物群 (field crop group)、飼料作物群 (forage crop group)、野草群 (wild grass)、非禾本科植物群 (forb group) 與林木群 (tree group)。在上述五個植物群對菌根依賴度分別為田間植物群 (field crop group) (44%)、飼料植物群 (forage crop group)–56%、野草群 (wild grass) 與非禾本科植物群 (forb group)-70%及林木群 (tree group)-(79%)，這250種植物對AMF的依賴度平均為56%。在田間植物群中，網紋瓜 (*Cucumis melo*)、燕麥 (*Avena sativa*) 與小麥 (*Triticum* spp.) 的菌根依賴度為負值。由這些整理的資料中顯示：栽培種植物對菌根的依賴度比野生種植物低。在同一類群植物中，不同植物種類，其菌根依賴度亦不相同，例如：田間植物群中，韭蔥 (*Allium porrum*) 在土壤磷為100 mg kg^{-1}時之菌根依賴度為96%，而在相同的土壤磷濃度下，燕麥的菌根依賴度為–22%。

同種植物不同品種，其菌根依賴度亦有差異。Hetrick *et al.* (1992) 調查小麥 (*Triticum aestivum*) 23個品種，其菌根依賴度最大為50，最小為–15%，平均為17%。野生品系 (wild lines)、原始品系

(primitive lines) 與現代栽培品系 (modern cultivated lines) 的小麥，其菌根依賴度是不同的 (Kapulnik & Kushnir 1991)，以小麥 *Triticum aestivum*現代的栽培品系與原始品系比較，在1950年以前釋出的栽培品系對AMF的依賴度比在1950年以後釋出的栽培品系高 (Hetrick *et al.* 1993, 1995)，有些小麥品系對AMF的依賴度為負值或沒有反應 (Hetrick *et al.* 1996)。小麥陸生品系與野生品系對AMF的依賴度比高產量品系的小麥高 (Manske 1989)。Zhu *et al.* (2001) 報告指出，小麥現代栽培品系接種AMF後，其地上部磷含量比同樣是接種AMF的原始品系低，顯示現代育種模式已降低小麥對它的依賴度。

有關水稻接種AMF的生長效益評估很少有學者研究，因為水稻生長在厭氧的水田環境中，AMF是否存在依然是有爭議的。在研究室的試驗中，於浸水的狀態下，AMF的拓殖率會降低，但在排水的情況下，水稻的菌根拓殖率很高 (Vallino 2009)。Suzuki *et al.* (2015) 評估64個水稻品種接種AMF的生長效益，試驗在玻璃溫室中進行，水稻接種*Funneliformis mosseae*生長4週後，64個品種對AMF的生長反應 (mycorrhizal growth response) 從 – 4.4% 到 118.9%，ARC5955品種水稻 (indica rice) 的菌根生長反應最高 (118.9%)， Nipponbare品種水稻 (japonica rice) 的菌根生長反應為18.7%。在植體營養元素含量方面，接種AMF可顯著提高ARC5955與Nipponbare兩個品種水稻地上部與根部的磷含量及降低銅與鋁的含量。AMF可顯著促進水稻品種ARC5955生長，但對水稻品種Nipponbare生長則無顯著的促進效果。

二、叢枝菌根菌種類對作物接種效益之影響

同一種植物接種不同種類AMF，亦會影響其菌根依賴度。Sanders *et al.* (1977) 以洋蔥接種4個不同種類的AMF，試驗結果顯示 *Glomus mosseae* Gerd. & Trappe, *Gl. macrocarpus* var. *geospora* Gerd. & Trappe 與 *Gigaspora calospora* Gerd. & Trappe 這3個菌種可促進洋蔥生長，而 *Gl. microcarpus* Tul. & Tul. 對洋蔥生長無促進效果。

Pedersen *et al.* (1991) 以蘆筍接種5個不同種的AMF (*Gl. clarum, Gl. intraradices, Gl. monosporum, Gl. versifome and Gl. vesiculiferum*)，試驗結果顯示 *Gl. intraradices* 在溫室與田間試驗中皆可顯著的增加蘆筍的乾重。接種AMF之組織培養苗在移栽田間14個月後，其存活率是對照組的兩倍。在另一個試驗中，蘆筍從種子開始育苗並在溫室中以泥炭苔為介質，分別接種三種AMF (*Gl. fasciculatum, Gl. intraradices , Gl. vesiculiferum*)，並分別給予不同的磷肥 (0, 50, 100, 150 ppm)，在第13週及第17週進行採收。接種 *Gl. intraradices*及*Gl. vesiculiferum* 的蘆筍植體乾重顯著高於對照組及 *Gl. fasciculatum* 接菌組。在該次試驗中發現植體乾重與菌根拓殖率呈正相關。菌根拓殖率在種植後第13週因磷肥的添加量增加而略微降低，但在第17週則不受影響。該試驗結果顯示菌根作物的增長與植體內磷濃度增加無關，因為添加磷肥並未產生生長效應，接種菌根菌作物的植體內磷濃度低於未接菌的對照組。

美國有八個研究單位共同評估6個不同品系的AMF (*Gl. etunicatum*) 以及2個不同種類的AMF (*Gl. claroides, Entrophospora columbiana*) 對大豆與高粱的生長效益，試驗結果顯示：在不同州不同地點但相同種類的土壤上，*Gl. etunicatum* 的2個品系 (GE329和GENPI) 對大豆植體乾重有最大的效益。另外，在高粱的試驗結果顯示，除了上述2個品系的*Gl. etunicatum*外，還有另1個品系的*Gl. etunicatum* (GE312) 也有相同的促進效益。在上述試驗中，大豆的菌根感染長度與作物的生長效益無關，但高粱的菌根感染長度則與作物的生長效益呈正相關 (Sylvia *et al.* 1993)。

Graham & Abbott (2000) 在澳洲小麥生產專區分離10種AMF菌株，以壤質砂土 (loamy sand) 在溫室中進行小麥接種試驗。小麥分別給予低於適量與高於適量的磷肥。磷肥添加低於適量時，小麥生長受到限制。所有AMF分離株在小麥發芽14天後開始感染根部，第42天根部拓殖率在50%-89% 的分離株被歸類為具侵略性(aggressive)菌株，若拓殖率在1%-19%者則被歸類為非侵略性(non-aggressive)菌株。添加高於適量的磷肥可增加幼苗的生長2-3倍，但卻減少了根的感染長度。侵略性菌株即使在高磷的條件下仍比其他菌株有較高的感染根長度。在低磷的條件下，只有*Scutellospora calospora*的兩個分離株可促進小麥的生長，其他侵略性菌株與非侵略性菌株皆降低了小麥的生長。在高磷的條件下，所有侵略性菌株皆抑制了小麥的生長。在低磷的條件下，侵略性菌株可提高植體磷的濃度，但在高磷的條件下，植體磷濃度則不受菌株的影響。侵略性菌株對小麥所產生的生長抑制現象與降低根部蔗糖濃度有關。

綜合來說，不同種類的AMF對於相同作物所展現的不同菌根依賴度，其差異主要在於不同種類的AMF其根外菌絲的拓殖能力不同，以及根外菌絲對於磷的吸收能力也有差異所致 (Dickson *et al.* 1999; Smith *et al.* 2000) 。

三、土壤磷含量對叢枝菌根菌接種效益之影響

植物的菌根依賴度受到許多土壤因子的影響，其中土壤養分，特別是可溶性磷的濃度。Leu *et al.* (1995) 研究報告顯示每週施用一次1/4磷量的Johnson solution (15 mg/kg-P)，番茄的菌根拓殖率為73.4%，每週施用一次1/2磷量的Johnson solution (31 mg/kg-P)，番茄的菌根拓殖率下降為55.5%，每週施用一次全磷量的Johnson solution (62 mg/kg -P)，番茄的菌根拓殖率更降為24.2%。Menge *et al.* (1977) 發現加州土壤中磷的含量與菌根菌的孢子數成反比。Kucey & Paul (1983) 亦報導，在不施磷肥的土壤中，蠶豆的菌根拓殖率為47%，而施用45 kg-P/ha後，蠶豆的菌根拓殖率下降為15%，在施肥區土壤中，菌根菌的孢子數為30個/100g soil，在未施肥區土壤中，菌根菌的孢子數為65個/100g soil。在高磷的土壤條件下，只靠作物的根部即可獲得足夠的磷，不需藉由AMF的菌絲來吸收磷，但AMF卻需要從宿主植物獲得碳源。為了避免產生這種寄生的結合關係，當土壤中磷濃度高時，植物本身會抑制AMF的拓殖。

Lin & Wu (2002) 探討磷酸根離子對 AMF 孢子發芽與菌絲生長之影響，試驗菌種有六種，*Acaulospora scrobiculata, A. morrowiae, Entrophospora kentinensis, Gl. mosseae, Gl. occultum* 與 *Gl. versiforme*。試驗結果發現， *E. kentinensis, Gl. mosseae* 這兩種菌根菌孢子，當磷酸根離子濃度在 0.4-10 mM 時，孢子發芽率最高，分別為 73.3%-90.0%，71.8%-85.8%。但當磷酸根離子濃度增加至 20mM 時，這兩種菌根菌孢子之發芽率皆降至 20%以下，當磷酸根離子濃度達 40 mM 時，這兩種菌根菌孢子之發芽率皆為 0。 *A. morrowiae* 與 *A. scrobiculata* 在磷酸根離子濃度 4 mM 以下時，孢子發芽率較高，分別為 44.3%-58.5 % 與 49.7%-63.8 %。*Gl. versiforme* 在磷酸根離子濃度 2 mM 時，孢子發芽率最高為 45.5%。*Gl. occultum* 對磷最敏感，當磷酸根離子濃度在 1 mM 以上，則菌根菌發芽率與菌絲生長明顯下降。*E. kentinensis* 在磷酸根離子濃度 0.4-10 mM 時，菌絲長度為 0.3-0.5 mm/spore，當磷酸根離子濃度在 20 mM 以上時，孢子全數不發芽。*Gl. mosseae* 在磷酸根離子濃度 2 mM 時，發芽率不受影響，但菌絲生長長度開始明顯下降。*A. morrowiae* , *A. scrobiculata* 與 *Gl. versiforme* 這三種菌根菌孢子，當磷酸根離子濃度在 10 mM 以上時，菌絲生長明顯受抑制。

Abdullahi & Sheriff (2013) 研究AMF與化學肥

料用量對洋蔥生長之影響，化學肥料氮肥與磷肥用量有6個等級，氮-磷用量分別為 00-00，40-20，60-30，80-40，100-50與120-60 kg ha^{-1}，鉀肥用量固定為50 kg ha^{-1}，AMF種類為*Gl. intraradices*，試驗地土壤質地為砂質壤土，其土壤pH值為6.8。試驗結果顯示：在洋蔥苗移植田間8週後，未接種AMF的洋蔥苗生長隨著肥料施用量增加而增加，而接種AMF之洋蔥苗以肥料施用量為 60-30-50 kg ha^{-1} (N-P-K) 之生長最好，與未接種AMF但施用化學肥料120-60-50 kg ha^{-1} (N-P-K) 之對照組生長勢無明顯差異。但隨著肥料用量繼續增加，接種AMF的洋蔥苗之生長效益逐漸降低。

四、臺灣叢枝菌根菌資源調查

農業試驗所調查臺灣代表性土壤中AMF孢子的種類與數量，調查結果發現：在69個採樣土壤中有19個土壤 (28%) 找不到叢枝菌根菌孢子，有63個土壤 (91%) 之孢子數少於100個/100g soil 。在69個採樣土壤中所出現的叢枝菌根菌菌種共有15種，而這15種菌根菌出現6次以上的有8種，分別為*Acaulospora mellea* (10次)，*A. morrowiae* (25次)，*A. scrobiculata* (8次)，*Gl. claroideum* (10次)，*Gl. etunicatum* (7次)，*Gl. mosseae* (10次)，*Gl. occultum* (16次)與*Gl. spurcum* (6次)。平均孢子數較多之菌根菌菌種為*Gl. spurcum* (350個/100g soil)與 *A. scrobiculata* (98個/100g soil) (Lin *et al.* 2000a)。

五、作物接種叢枝菌根菌之效益評估

農業試驗所過去已進行測試的作物有瓜類 (木瓜、洋香瓜、甜瓜、西瓜、苦瓜)、茄科 (番茄、青椒、甜椒)、菊科 (杭菊、非洲菊、孔雀草)、香蕉、柑橘、茶樹、蘆筍、大蒜、青蔥、百日草、矮牽牛、百合、火鶴花、海芋等。接種AMF可增加作物產量 5%–50%，可減少氮肥與磷肥施用量 10%–50%，可降低作物病害 (根瘤線蟲、疫病、香蕉黃葉病) 罹病率10%–40% (Lin *et al.* 1999, 2000b, 2001a, 2001b, Wu & Lin 2000, Wu *et al.* 2000b) 。

六、叢枝菌根菌保存與提供、研發人才訓練及農民推廣

農業試驗所目前保存600餘株AMF菌株，定期繁殖更新，長期提供國內大學 (臺灣大學、中興大學、嘉義大學及宜蘭大學) 與研究單位 (苗栗、台南、高雄、台東、花蓮區農業改良場及茶業改良場) 所需之研究材料，並協助菌種鑑定、AMF孢子分離及菌根拓殖率檢測技術之訓練。每年舉辦研討會或講習會，並派員在農業試驗所與其他試驗改良場農民學院擔任講師，教導農民使用技術。此外，長期提供農民AMF菌土試用，試用面積超過300公頃，試用作物包括胡瓜、洋香瓜、甜瓜、南瓜、苦瓜、絲瓜、木瓜、番茄、番椒、茶、油茶、鳳梨、梨、酪梨、芒果、枇杷、檸檬、草莓、棗、百香果、紅龍果、番石榴、荔枝、柿、金桔、柳丁、柚、葡萄、無花果、胡蘿蔔、玉米、甘藷、馬鈴薯、羅勒、水稻、茭白、香夾蘭、花生、青蔥、大蒜、芝麻、紅蔥、棉、蘆筍、大豆、敏豆、豇豆、皇帝豆、食用百合、薑、薑黃、薄荷、菊花、秋葵、洛神葵、竹筍等作物。農民試用反映以需要育苗的作物效益較佳。此外，為了讓研究人員與農民更加瞭解AMF，農業試驗所彙集國內AMF研究專家與學者之研究報告，出版「囊叢枝內生菌根菌應用技術手冊」，內容包含AMF的型態分類、孢子分離技術、孢子生產技術、菌根染色技術及菌種使用技術等，提供研究人員與農民參考。本書有網路版電子書，有興趣的研究人員或農友可自行上網查詢。(Wu & Lin 1998)

結語

在低投入的有機農業中，可藉由 AMF 持續利用土壤中的磷肥，在相同的吸收面積下，菌絲對磷的吸收量是根部的 100 倍 (Harley 1989)。但現代育種模式所選育出的品種或品系大多對 AMF 依賴度低，無法充分利用 AMF 的優勢，未來應在低養分與逆境下進行品種與品系的選育，才能選出與 AMF 親合性高的作物，使 AMF 在促進作物的生長效益達到最大。另外，AMF 最好的接種時期在苗期，未來應發展與推廣 AMF 種苗，由種苗業者在育苗期進行 AMF 接種，而農民買到已接種之菌根種苗後，可直接定植於田間，不用再花時間進行接種，能提高 AMF 的接種效益，減少化學肥料與農藥的施用量，使我們的農業更加友善。

引用文獻

Abdullahi, R. and H. H. Sheriff. 2013. Effect of arbuscular mycorrhizal fungi and chemical fertilizer on growth and shoot nutrients content of onion under field condition in northern Sudan savanna of Nigeria. IOSR J. Agri. Veter. Sci. (IOSR-JAVS) 3(5): 85–90.

Augé, R. M., X. Duan, C. Ebel, and A. J. W. Stodola. 1994. Nonhydraulic signaling of soil drying in mycorrhizal maize. Planta 193: 74–82.

Baylis, G. T. S. 1975. The magnolioid mycorrhiza and mycotrophy in root systems derived from it. *In*: Endomycorrhizas. (Sanders, F. E., B. Mosse, and P. B. Tinker ,eds.) New York, USA: 410 Academic Press: 373-389.

Degens, B. P., G. P. Sparling, and L. K. Abbott. 1996. Increasing the length of hyphae in a sandy soil increases the amount of water-stable aggregates. Appl. Soil Ecol. 3: 149–159.

Diaz, G., C. Azcón-Aguilar, and M. Honrubia. 1996. Influence of arbuscular mycorrhizae on heavy metal (Zn and Pb) uptake and growth of *Lygeum spartum* and *Anthyllis cytisoides*. Plant Soil 180: 241–249.

Dickson, S., S. Smith, and F. A. Smith. 1999. Characterization of two arbuscular mycorrhizal fungi in symbiosis with *Allium porrum*: colonization, plant growth and phosphate uptake. New Phytol. 144: 163–172.

Feng, G., F. S. Zhang, X. L. Li, C. Y. Tian, C. Tang, and Z. Rengel. 2002. Improved tolerance of maize plants to salt stress by arbuscular mycorrhiza is related to higher accumulation of soluble sugars in roots. Mycorrhiza 12: 185–190.

Fitter, A. H. and B. Moyersoen. 1996. Evolutionary trends in root-microbe symbioses. Phil. Trans. R. Soc. Lond. B Biol. Sci. 351: 1367–1375.

Gange, A.C., and H. M. West. 1994. Interactions between arbuscular mycorrhizal fungi and foliar-feeding insects in *Plantago lanceolata* L. New Phytol. 128: 79–87.

Gerdemann, J. W. 1975. Vesicular-arbuscular mycorrhiza. p. 575-592. *In*: The development and function of roots (Torrey, J. G. and D. T. Clarkson. eds.) Academic Press, London.

Graham, J. H. and L. K. Abbott. 2000. Wheat responses to aggressive and non-aggressive arbuscular mycorrhizal fungi. Plant Soil. 220: 207–218.

Harley, J. L. 1989. The significance of mycorrhiza. Mycol. Res. 92: 129-139.

Hetrick, B. A. D., G. W. T. Wilson, and T. C. Todd. 1996. Mycorrhizal response in wheat cultivars: relationship to phosphorus. Can. J. Bot. 74: 19-251.

Hetrick, B. A. D., G. W. T. Wilson, and T. S. Cox. 1992. Mycorrhizal dependence of modern wheat varieties landraces and ancestors. Can. J. Bot. 70: 2032-2040.

Hetrick, B. A. D., G. W. T. Wilson, and T. S. Cox. 1993. Mycorrhizal dependence of modern wheat cultivars and ancestors-A synthesis. Can. J. Bot. 71: 512-518.

Hetrick, B. A. D., G. W. T. Wilson, B. S. Gill, and T. S. Cox. 1995. Chromosome location of mycorrhizal responsive genes in wheat. Can. J. Bot. 73: 891-897.

Kapulnik, Y. and U. Kushnir. 1991. Growth dependency of wild, primitive and modern cultivated wheat lines on vesicular-arbuscular mycorrhiza fungi. Euphytica 56: 27-36.

Kucey, R. M. N., and E. A. Paul. 1983. Vesicular arbuscular mycorrhizal spore populations in various Saskatchewan soils and the effect of inoculation with *Glomus mosseae* on faba bean growth in greenhouse and field trials. Can. J. Soil Sci. 63: 87-95.

Leu, S. W., H. J. Chang, and C. N. Chang. 1995. Production of mycorrhizal tomato seedlings by plug system and their growth responses in the field. J. Chinese Soc. Horti. Sci. 41: 54-67. (in Chinese)

Lin, S. C. and C. G. Wu. 2002. The influence of phosphate on the spore germination and hyphal growth of arbuscular mycorrhizal fungi. J. Taiwan Agric. Res. 51(3): 20-30. (in Chinese with English abstract)

Lin, S. C., C. G. Wu, S. N. Huang, and K. H. Houng. 1999. Inoculation effect of arbuscular mycorrhizal fungi and phosphate-solubilizing bacteria on the growth of Asian hybrid lily. J. Taiwan Agric. Res. 48: 135-142. (in Chinese with English abstract)

Lin, S. C., C. Y. Wang, and C. C. Su. 2001a. Using arbuscular mycorrhizal fungus and other microorganisms for control of *Fusarium* wilt of banana. J. Taiwan Agric. Res. 61: 241-249. (in Chinese with English abstract)

Lin, S. C., K. H. Houng, and C. G. Wu. 2000a. General survey of arbuscular mycorrhizal fungi in selected soils of Taiwan. J. Taiwan Agric. Res. 49: 65-80. (in Chinese with English abstract)

Lin, S. C., S. C. Lin, and C. G. Wu. 2001b. Microbial inoculation effect on the growth and phosphorus concentration of *Eustoma grandiflorum*. J. Taiwan Agric. Res. 50: 66-73. (in Chinese with English abstract)

Lin, S. C., S. N. Huang, K. H. Houng, and C. G. Wu. 2000b. Effect of microbial inoculation on the seedling growth of citrus maxima and wentan pomelo J. Taiwan Agric. Res. 49: 63-75. (in Chinese with English abstract)

Manske, G. G. B. 1989. Genetical analysis of the efficiency of VA mycorrhiza with spring wheat. Agric. Ecosyst. Environ. 29: 273-280.

Menge, J. A. S., N. M. Davis, and V. Minassian. 1977. Mycorrhizal fungi associated with citrus and their possible interactions with pathogens. Proc. Int. Soc. Citriculture 3: 872-876.

Mohammad, M. J., H. I. Malkawi, and R. Shibli. 2003. Effects of mycorrhizal fungi and phosphorus fertilization on growth and nutrient uptake of barley grown on soils with different levels of salts. J. Plant Nutr. 26: 125–137.

Pedersen, C. T., G. R. Safir, S. Parent, and M. Caron. 1991. Growth of asparagus in a commercial peat mix containing vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi and the effects of applied phosphorus. Plant Soil 135: 75-82.

Plenchette, C., J. A. Fortm, and V. Furlan. 1983. Growth response of several plant species to mycorrhizae in a soil of moderate P-fertility. I. Mycorrhizal dependency under field conditions. Plant Soil 70: 199- 209.

Sanders, F. E., P. B. Tinker, R. L. B. Black, and S. M. Palmerley. 1977. The development of endomycorrhizal root systems. I. Spread of infection and growth-promoting effects with four species of vesicular-arbuscular endophyte. New Phytol. 78: 257-268.

Schüßler, A., D. Schwarzott, and C. Walker. 2001. A new fungal phylum, the Glomeromycota: phylogeny and evolution. Mycol. Res. 105: 1413–1421.

Sieverding, E. 1991. Vesicular-arbuscular mycorrhiza management in tropical agrosystems. P. 371, Deutsche Gesellschaft fur Technische Zusammernarbeit (GTZ) GmbH, Germany.

Smith, F. A., I. Jakobsen, and S. E. Smith. 2000. Spatial differences in acquisition of soil phosphate between two arbuscular mycorrhizal fungi in symbiosis with Medicago trunculata. New Phytol 147: 357–366.

Suzuki, S., Y. Kobae, T. Sisaphaithong, R. Tomioka, C. Takenaka, and H. Shingo. 2015. Differential growth responses of rice cultivars to an arbuscular mycorrhizal fungus, *Funelliformis mosseae*. J. Horti. 2: 142.

Sylvia, D. M., D. O. Wilson, J. H. Graham, J. J. Maddox, P. Millner, J. B. Morton, H. D. Skipper. S. F. Wright, and A. G. Jarstfer. 1993. Evaluation of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi in diverse plants and soils. Soil Biol. Biochem. 25(6): 705-713.

Tawaraya, K. 2003. Arbuscular mycorrhizal dependency of different plant species and cultivars. Soil Sci. Plant Nutr. 49(5): 655-668.

Tisdall, J.M. 1991. Fungal hyphae and structural stability of soil. Aust. J. Soil Res. 29: 729–743.

Vallino, M., D. Greppi, M. Novero, P. Bonfante, and E. Lupotto. 2009. Rice root colonisation by mycorrhizal and endophytic fungi in aerobic soil. Ann. Appl. Biol. 154: 195-204.

Whipps, J. M. 2004. Prospects and limitations for mycorrhizas in biocontrol of root pathogens. Can. J. Bot. 82: 1198–1227.

Wu, C. G. and S. C. Lin. 1998. Application manual of arbuscular endophytic mycorrhizal fungi. Taiwan Agricultural Research Institute, Taichung, Taiwan, ROC. ISBN: 957-02-1767-7. (in Chinese)

Wu, C. G. and S. C. Lin. 2000. Inoculation effect of arbuscular mycorrhizal fungi on the growth and phosphorus contents of oriental lily bulb.

J. Taiwan Agric. Res. 49: 50-56. (in Chinese with English abstract)

Wu, C. G., S. C. Lin, S.Y. Lin, and K. C. Chuang. 2000. Growth responses of Anthurium andraeanum after microbial inoculation. J. Taiwan Agric. Res. 49: 57-62. (in Chinese with English abstract)

Zhu, Y. and R. Miller. 2003. Carbon cycling by arbuscular mycorrhizal fungi in soil-plant systems. Trends Plant Sci. 8: 407-409.

Zhu, Y. G., S. E. Smith, A. R. Barritt, and F. A. Smith. 2001. Phosphorus (P) efficiencies and mycorrhizal responsiveness of old and modern wheat cultivars. Plant Soil 237: 249–255.

Application Study of Arbuscular Mycorrhizal Fungi

Su-Chen Lin [1,*]

[1] Associate Research Fellow, Agricultural Chemistry Division, Taiwan Agricultural Research Institute, Taichung, Taiwan, ROC.

Abstract

It is a quite common in our natural environment a harmonic and symbiotic relationship exists between plant roots and arbuscular mycorrhizal fungi (AMF). AMF could promote nutrient absorption, enhance resistance to the soil-borne pests, increase drought-resistance, augment the tolerance of heavy metals, and improve the agglomerate structures in soil. In this presentation, we compiled the diversity between plant species and AMF species as well as the influence of soil phosphorus contents to both AMF promotion effects and the crop growth. Factors will be addressed to obtain the best performance between crops and AMF. From the previous studies, the dependence of AMF of cultivated varieties is much lower than wild ones. AMF dependence of terrestrial and wild cultivars is higher than those with high crop yield phenotypes. Modern cultivated cultivars have lower dependence than their original ones. Crop growth promotion effects of AMF species showed different interactions between fungal strains and crop varieties. AMF could exhibit better crop growth promotion effect in the low P growth medium than in high P. Most newly selected cultivars in the modern breeding system show lower dependence to the AMF and could not fully take advantage of AMF. In the future, if new cultivars could be selected under environmental stress and poor fertilization soils, they may have better mutual cooperation with AMF, and achieve the maximal performance in the crop yield.

Key words: Arbuscular mycorrhizal fungi, Crop variety, Crop cultivar, Phosphate.

*Correspondence address
e-mail: linmay@tari.gov.tw